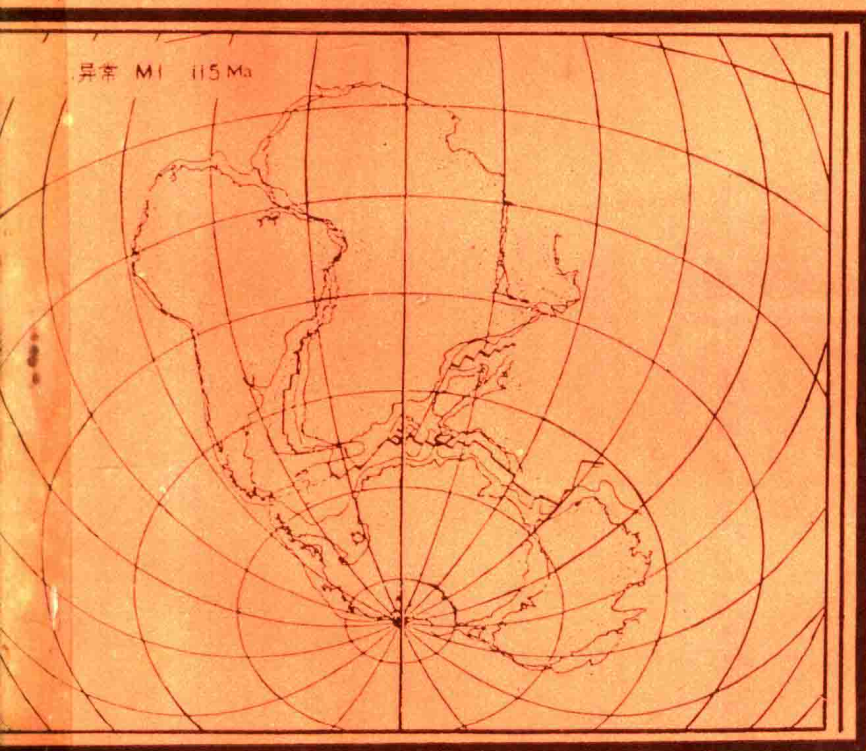


大地构造 物理学和 地球动力学

[法] L. 利布特里 著



地质出版社

大地构造物理学 和地球动力学

〔法〕L.利布特里 著

孙 坦 译

袁学诚 校

地质出版社

内 容 提 要

本书共17章,介绍地震和地震探测,地磁场,岩石的剩余磁化,洋脊和海底扩张,俯冲带,现代板块的相对运动,板块在历史上的运动,地壳和上地幔的性质,地壳均衡、低速带和地热流,垂直运动,弹性和塑性变形、断裂,板块和地幔的力学性质、下地幔的性质,地壳分凝和热点,板块驱动机制,构造机制,造山运动阶段等内容。

本书结构严谨,别具一格,是构造地质和地球内部物理学的综合性专著,也是培养既懂地质又懂地球物理人材的教学参考书。可供广大地质、地球物理人员阅读参考。

书中计量单位按原书译出,个别地方按我国法定计量单位加了注释。

书中附图系按原书中附图译印。

TECTONOPHYSIQUE ET GÉODYNAMIQUE

Une synthèse
géologie structurale • géophysique interne

Louis LLIBOUTRY

MASSON, Paris

1982

大地构造物理学和地球动力学

[法] L. 利布特里 著

孙 坦 译

袁学诚 校

*

责任编辑:张怀素

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本: $787 \times 1092^{1/16}$ 印张: $17^{5/8}$ 字数: 410,000

1986年4月北京第一版·1986年4月北京第一次印刷

印数: 1—2,650册 定价: 4.15元

统一书号: 13038·新209

译 者 的 话

板块构造学说的诞生给人们以极大的启示：以地壳为研究对象的地质学和以地球整体为研究对象的地球物理学只有紧密结合，才能推动地球科学迅速向前发展。地质学和地球物理学具有唇齿、表里的关系，可以说，不将两者结合，任何人都难于提出深刻的、有价值的看法。

近几年，法国一些著名地质学家和地球物理学家在自己的文章和讲话中都反复强调了地质和地球物理相结合的重要意义。也正是基于这种认识，为“填补长期存在于法国这两方面人员之间的隔阂”，提高研究水平，法国著名地球物理学家、格勒诺布尔第一大学教授路易·利布特里着手编著了《大地构造物理学和地球动力学》一书。这是一部构造地质学和地球内部物理学的综合性专著。作者结合当前最新的地球动力学资料（包括作者自己的独特见解），将地质学和地球物理学有关内容揉合起来，一并介绍，实为了解当前大地构造物理学和地球动力学发展动向和培养既懂地质又懂地球物理专门人材的一部不可多得的参考书。

这里需说明一点，按照利布特里先生寄来的勘误表，译者对原书作了多处改译或补译。

本书内容较广泛，而译者水平有限，译文错误在所难免，不当之处，敬请读者指正。

中文版序言

我的这本书被选来作为向中国地质工作者传授现代地球物理学之用，这在我是莫大的荣幸。能够为我们两国人民之间的科学合作尽微薄之力，我感到由衷的高兴。

我希望本书在中国也能象在法国一样，能有助于地质人员和地球物理人员相互接近，使他们懂得，地质学和地球物理学两方面的工作是互为补充的，彼此间谁也不能再无视对方取得的成果。地质人员若要了解山脉的形成机制，就不能仅满足于研究出露于地表的建造，他们还须注意了解地震测深和重力测量所揭示的深部构造情况，关心古磁学的进展以及某些同位素的相对丰度（这里列举的仅是一些最主要的专业）。地球物理学人员应当懂得，他们的工作应当首先放在开展地质研究方面，而预报地震不能作为地球物理学的主要目标（须知，预报地震是一项遥远的和充满未定因素的目标）。

写这本书的目的是向读者提供了解并参与现代研究所必需的基础性资料和概念，因此我并未局限于介绍象地震波传播、岩石磁化和大板块间相对运动这样一些已经明确的问题，而且还述及现今正积极研究的一些认识尚很差的问题。在这方面，为了和符合教学起见，我对许多相对立的学说进行了取舍。翻阅最新出版物时，我总感不安：新的成果或许会表明我作了不恰当的取舍？

我的书是在一九八一年底印刷出版的。那时尽管中法合作研究西藏的大型项目正在执行过程中（合作成果发表于一九八四年一月，见“*Nature*”，307，17—36），我还是在第十一章第七节中对这一地区的深部构造情况作了专述。令我欣慰的是，我所发表的一点意见得到了证实。整个东南亚的构造是建立在“侧向挤出”基础上的观点（第十三章第六节）得到了明确表述（Peltzer和Tapponnier, *Comptes-rendus Ac. Sci. Paris*, 294. II, 1341—1348, 1982）。

关于下地幔，我的书做了最大胆的选择（第十四章第九节和第十五章第五节）。我采纳的是在一九八〇年得到广泛接受的假说，即认为下地幔保留着其原始的组成，那里存在着规则而缓慢的对流（相对上地幔对流而言）。新近的某些文章指出，情况比这要复杂一些：下地幔下部的粘度可能很小（Poirier等人, *Physics of the Earth and Planet. Int.*, 32, 273—287, 1983），原始地幔可能位于上地幔的下部（Herzberg和Forsythe, *Phys. Earth Planet. Int.*, 32, 352—360, 1983），地幔可能有三种化学成分而不是两种（Zindler等人, *Nature*, 298, 519—523, 1982）。不过这些观点与我表述的观点不同，根据它们还建立不起一种严密的模式，其中既能解释热点参考系又能解释俯冲板块受到纵向挤压（与下地幔相遇时出现的）时发生的深震。因此，从向读者介绍情况这一点上讲，我采纳的假说仍算是最好的。

孙坦工程师翻译了本书，袁学诚高级工程师审校了译稿，对此我向他们表示感谢。希望中国同事能够从中受益。借此机会，我向中国同事致意，并送他们这样几句话：仍有许多疑难问题有待明确，科学界寄希望于你们，努力吧！

路易·利布特里

一九八四年九月于格勒诺布尔

前言

这本书是为地质人员和内部地球物理人员撰写的，目的是希望能为填补长期存在于法国这两方面人员之间的隔阂尽些微薄之力。

原想同我的好友雅克·德伯尔马斯这位权威性地质学者合作撰写此书，然而鉴于某些地质学者在自己编著的地质学教材中插入不少地球物理方面的章节，笔者受到鼓舞，决意亦要作另一番尝试，即在一部地球物理学教材中加入地质学章节。这样做，目的是使书在内容上更为统一一些。

地质人员将可以从本书中了解到对地球内部及地球动力学过程的新见解。有些看法并不同于五年前我在参与编写《内部地球物理学专论》一书时所持的看法。阅读本书将使地质人员懂得，不应轻信任何精采的演算。我在本书内明确指出，某些著名学者的一些结论是缺乏有力根据的。此外，地质人员还可以对已有成果的广度取得大致了解。由于无法整天埋头阅读这浩瀚无比的地球物理文献资料，已有的大部分成果不能为他们所知。最后，地质人员还可以了解到，地质学在哪些方面取得的成果对当前地球动力学理论的发展会产生肯定性的影响。

未学习过地质学的地球物理人员将于本书内找到模拟地球动力学现象所必须掌握的基础性知识。我自感欣慰的是使用了少而精的一套地质词汇。这一套词汇常见于有关原始文献。然而地质人员不大可能也作此选择，因为在这样一套词汇中没有化石名称，书的最后一章也仅列出某些地层年代的名称，且提及的矿物、岩石也才四十余种。尽管如此，对于认识地质问题的复杂性，这套词汇已足够了。愿读者不要再认为以前某个地球物理学家的简单化模式足能反映实际。讲到这里，我特别想到板块学说。在书中，我既指出了这一学说的光辉成就，又指出了其局限性。据我所知，这是第一部对板块在造山带亦呈刚性的说法予以否定并对垂直升降运动寄予应有重视的教材。

本书对在格勒诺布尔科学医科大学向二阶段第二年攻读硕士学位学生所授课程（按旧的教学大纲，相当构造地质学三级证书，普通地球物理学四级证书）的基础上又作了某些扩充。笔者添加的第一章是“地震和地震探测”。这一章是对G.佩里埃同时所授课程的一个简短归纳（由于重点放在描述和非数学方面，毋宁说是这方面课程的一个导论）。最后两章（“构造机制”和“造山运动阶段”）是构造地质学导论，同样属于教授的另一门课程。据此，本书适合攻读实验地质学硕士学位的学生阅读。数学程度不超过大学普通学习阶段自然科学和生命科学类教学的水平。（然而我要在此指出，为以后在地球物理学第三阶段深化对问题的认识，在接受地质系大学普通学习阶段自然科学和生命科学类培训之前，很需要先接受中学毕业会考数理化类和大学普通学习阶段数理化类的培训，或高等数学方面的培训）。在第三阶段学习中以及从事构造地质学和内部地球物理学研究过程中，本书仍将是有益的。

编写一部供大学生使用的教材，总要对有关课题特别是有关理论作有选择的介绍。许多同事以为有必要将众多相互矛盾的学说一并介绍，然后再对其中的大部分进行驳斥。当

然,这样做会避免年轻学者的笔下再经常出现被发展了的认识所推倒的假说。但从对初学者的专业培训方面讲,这样做不好。一种学说,只能在它继续存在着应加摒弃的概念和词汇时,才可暗示它已陈旧、过时。因而仅就最为可信的学说作了介绍。但愿在目前的认识条件下,我对1969年以后涉及这些方面的原始出版物及讨论会所作的选择是最佳的。此外,我要明确指出,这仅是个人的选择,有的就是笔者本人的看法(以“笔者认为……”的句式表述)。

鉴于对探讨的许多问题尚远未取得一致意见,笔者只能引述最新的文章(尽可能是综述性文章)来证实许多论断。文中的参考索引是为那些愿对某个问题作深入了解的学者准备的。使用了下列符号:

EOS: Transactions of the American Geophysical Union

EPSL: Earth and Planetary Science Letters

GJ: Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society

JGR: Journal of Geophysical Research (serie B,rouge)

RGSP: Reviews of Geophysics and Space Physics

Tect: Tectonophysics

随后依次是:卷号,分卷号,文章的最前一页和最后一页,年份。

习惯了法国著作中笛卡儿严格性的读者可能会对本书的顺序感到奇怪。本书首先重视的是由易到难、由简到繁的循序渐进原则。由于本书是为接受多种培养的读者编写的,笔者并未假定任何地质学和地球物理学知识是预先明确的,一切都是从头叙述起。譬如,对地壳和地幔性质的介绍放在板块运动学之后。应力、形变和性态律是些基本然而却十分枯燥乏味的问题,因此放在后面待读者感到需要(或者对同时学习力学课程的读者来说,待他熟悉了这些概念)时才作介绍的。这种介绍方式要求我们对某些课题涉及多次,而每涉及一次理解都加深一步。然而,参阅文中叙述和查阅系列索引能使读者了解有关某个问题的全面论述。

本教材的最后一个特点是,鉴于英文已成为本学科的国际工作语言,在容易对引入的重要术语产生疑问时,在括号里写上了相应的英文词。这样做并非鼓励在法文文章中使用这些英文词,而只是为了说明研究人员在阅读原著时碰到的所有专业术语都有准确的法文对应词。

在此,向我的同事雅克·德伯尔马斯教授和居伊·佩里埃教授谨致谢意,感谢他们帮助修改草稿,并使我明确了几个尚有争议的问题。

目 录

译者的话

中文版序言

前言

第一章 学科的逻辑基础及学科概述	1
一、大地构造物理学和地球动力学	1
二、地质科学和地球物理科学	1
三、传统构造地质学原理	1
四、基础内部地球物理学的主要发现	2
五、对实在物的培根推理法和波普推理法	3
第二章 地震和地震探测	5
一、构造地震, 断层	5
二、诱发地震, 火山地震等	6
三、强震: 地震区的烈度	7
四、地震发生时散失的能量和地震波的传播	8
五、地震在时间和空间上的集合	9
六、地震仪	11
七、无限均匀(或层状)介质中的 P 波和 S 波	12
八、地震勘探原理	15
九、地壳和莫霍面	15
十、地幔和地核	16
十一、面波	18
十二、震源机制	18
第三章 地磁场	23
一、定义, 定律和单位	23
二、地磁场绝对测量仪器	25
三、相对测量仪器, 磁变仪	26
四、地磁场随时间的波动	27
五、内磁场	28
六、地磁势的球谐分析	29
七、地磁场的长期变化	30
第四章 岩石的剩余磁化	33
一、岩石磁化的测定	33
二、磁滞回线和等温剩余磁化 (ARI)	34
三、磁性矿物学	35

四、热剩余磁化 (ATR)	36
五、化学剩余磁化 (ARC) 和碎屑剩余磁化 (ARD)	37
六、考古地磁学	37
七、地磁极倒转	38
八、四百万年前的古地磁	40
第五章 洋脊和海底扩张	42
一、海洋探测	42
二、大陆边缘	42
三、大洋盆地	43
四、洋中脊	44
五、磁异常条带	48
六、转换断层	50
七、古地磁年代表时间上的延长	52
八、洋中脊的位置变化	52
第六章 俯冲带	55
一、和达-贝尼奥夫面	55
二、大洋板块间的俯冲	60
三、大洋板块向大陆板块下的俯冲	62
四、大陆进入到俯冲带内: 东印度岛弧	66
五、高地热流的来源和边缘海盆的演化	69
六、陆内俯冲带	70
第七章 现代板块的相对运动	73
一、在一平面内的固体运动学	73
二、在一球面上的刚性板块运动学	74
三、岩石圈板块瞬时旋转的确定	75
四、板块在百年内的运动和地震预报	78
五、利用观测站记录数据直接测定板块间的运动	81
六、空间大地测量新方法	83
第八章 板块在历史上的运动	85
一、大陆漂移	85
二、借助磁异常推断联合古陆的解体情况	88
三、双重点或三重点的稳定性	92
四、利用岩石古磁学推断大陆以前的位置: 方法原理	93
五、古磁方法的利用	95
六、欧美古陆及加里东造山带的形成	97
七、联合古陆的形成及其在三叠纪的转变	98
八、对太平洋边缘海盆扩张年代的测定	101
九、伊比利亚半岛在白垩纪时期的反时针旋转	102
十、其它微型大陆的旋转	105

第九章 地壳和上地幔的性质	107
一、主要的无水硅酸盐矿物.....	107
二、主要的含水硅酸盐矿物.....	108
三、主要结晶岩.....	108
四、各类玄武岩.....	110
五、变质岩.....	110
六、蓝闪石岩相, 榴辉岩相.....	112
七、大洋型地壳.....	112
八、上地幔的性质.....	113
九、蛇绿岩.....	114
十、深成岩体的侵位.....	116
十一、大陆型地壳.....	116
十二、中性地壳和“镁铁岩化”(地幔底辟作用).....	117
十三、壳幔混合物.....	118
第十章 地壳均衡, 低速带和地热流	120
一、重力场.....	120
二、自由空气异常和大地水准面波动.....	121
三、布格异常.....	122
四、地壳均衡模式.....	122
五、低速带.....	123
六、热扩散必需的时间.....	127
七、地热流测量.....	130
八、大洋板块的冷却和加厚.....	130
九、大陆岩石的放射性和地热流.....	133
十、古大陆下的岩石圈厚度.....	135
十一、地球内部的热平衡.....	136
第十一章 垂直运动	138
一、板块冷却造成的沉陷.....	138
二、被动大陆边缘的特殊沉陷.....	141
三、山脉的造陆隆升.....	142
四、高原的造陆隆升.....	142
五、板块的局部隆升, 迁移波动.....	143
六、大陆的大范围隆升与分裂.....	144
七、青藏高原的形成.....	148
八、中亚新构造运动.....	151
第十二章 弹性和塑性变形, 断裂	153
一、应力.....	153
二、平衡方程.....	155
三、形变和形变速率.....	156

四、弹性.....	158
五、塑性.....	159
六、理想塑性体.....	161
七、诺顿-霍夫体.....	164
八、岩石的性态律.....	165
九、牛顿粘滞性.....	168
十、断裂限.....	169
第十三章 板块和地幔的力学性质	171
一、使用的流变模式.....	171
二、地壳内应力.....	171
三、俯冲带内大洋板块的挠曲.....	173
四、板块的展直问题.....	175
五、火山重力造成的岩石圈凹陷.....	176
六、中亚地球动力学模拟.....	178
七、冰川性均衡抬升.....	180
八、冰川性均衡资料分析.....	184
第十四章 下地幔的性质, 地壳分凝和热点	189
一、地幔内的压力和温度.....	189
二、等温压缩和绝热压缩.....	190
三、如何求得地幔的密度.....	191
四、橄榄石和尖晶石间的相互转换.....	191
五、尖晶石-尖晶石后转变和下地幔的性质.....	193
六、大洋型地壳的再循环.....	193
七、地球演化的地球化学研究.....	194
八、大陆型地壳的现代循环.....	195
九、大陆型地壳分凝.....	197
十、前寒武纪的对流和造山运动.....	199
十一、热点的概念.....	199
十二、热点参考系.....	201
十三、磁极游移和大陆漂移.....	202
第十五章 板块驱动机制	204
一、热对流分析研究.....	204
二、室内实验.....	206
三、对流的数字模拟.....	207
四、地球内热对流的深度.....	211
五、不同的对流模式.....	213
六、板块的驱动力.....	215
七、各种动力机制的相对重要性.....	216
八、全球范围内的浅部最小对流.....	217

第十六章 构造机制.....	219
一、几个定义.....	219
二、不同的构造层次：节理，褶曲，劈理.....	219
三、褶曲的成因和演化.....	221
四、掩冲推覆体.....	223
五、重力推覆体提出的问题.....	224
六、碰撞山脉：喜马拉雅山脉.....	225
七、阿尔卑斯山脉的深部构造.....	225
八、变形时温度是否急增？.....	231
九、陆缘山脉：安第斯山脉.....	234
十、安第斯山脉垂直运动的原因.....	236
第十七章 造山运动阶段.....	239
一、地槽概念.....	239
二、造山带的特征沉积物.....	240
三、造山期的概念.....	241
四、造山旋回的新定义.....	242
五、特提斯海自三叠纪到始新世的演化史.....	243
六、地中海的形成.....	248
七、地中海的成盐期.....	250
八、地中海海盆扩展的原因.....	251
九、造山运动的地球动力学过程.....	253
地质年代表.....	255
有关名词对照表.....	258

第一章 学科的逻辑基础及学科概述

一、大地构造物理学和地球动力学

大地构造物理学是利用物理学的技术和方法研究全球构造的学科，是地球物理科学的一个分支。当它被用于地球物理勘查（或地球物理找矿）时，常被地质人员称为“地球物理学”。赋予地球物理学一词如此狭隘的涵义，正是图书分类及招聘广告分类等出现混乱的原因所在。本书将不对地球物理学的这个方面进行阐述。

地球动力学（含有地球“内部”之意）研究实际观测到的构造现象所经历的演化和转换过程。近二十年来在地球动力学方面取得了巨大进展——其中“板块学说”最为人熟知，这是地球物理人员以崭新眼光研究地质问题而建树的功绩。地球动力学这一学科是对大地构造物理学的自然补充。

地球动力学要求对地质事实进行概括和模拟。只有建立模式，才能应用力学、热力学和物理化学的定律。从事这方面工作，通常需要进行复杂的计算，而计算工作只能利用数字计算机（至少是计算器）才能完成。

本书将着重阐述地质事实、概念和模式，而几乎避免涉及任何计算方面的问题。

二、地质科学和地球物理科学

本世纪初，已能够将地球科学明确划分为地质科学和地球物理科学。地质科学包括：矿物学、岩石学、沉积学、古生物学、地层学、构造地质学、地貌学。地球物理科学包括：大地测量学、重力学、地震学、大地构造物理学以及对地磁、地热、冰川、水文、海洋、气象、高层大气物理的研究。

由于研究目标不同，地球物理科学表现的特点是，很早就引入了定量模式，并将力学、热动力学和物理化学方面的定律应用到这些模式中。（“地球物理学”中的“物理学”一词是指以前广义的物理学。而今天，“物理学”一词几乎纯指受量子理论支配的分子、原子、原子核和粒子物理学）。模拟方法逐步被应用到大部分地质学科中。此外，在地质和地球物理这两大类学科之间又出现了某些边缘学科，如地球动力学、放射性年代学、岩浆学、古地磁学、行星学等。这种情况致使今天区别地质学和内部地球物理学更多地是基于研究人员的不同培训方向，而不是基于研究的对象。

对于构造地质学，还需要具体地探讨一下，传统的一套工作方法虽然为认识地球作出了贡献，但是为什么至今仍不足以用来对地质构造现象作出全面的研究？

三、传统构造地质学原理

传统构造地质学在其发展中遇到三种障碍：

1. 该学科只研究构造运动和变形, 而对造成运动和变形的力未给予估计(没有力学模式)。

2. 传统构造地质学不能解释力的来源, 因而亦未能解释水平运动和垂直运动发生的原因。力的主要来源是在地质人员无法知晓的深部。

3. 传统构造地质学无法对各种相互矛盾的假说进行验证, 而地球物理学通过测量和计算往往可以做到这一点。

换句话说, 地球物理学可以用物理学的主要定律把地质人员观测的各种地质现象串联起来。地球物理学不可以单独存在, 而是一种不可缺少的补充。

不对动力来源作定量分析, 地质人员便会去求助于现实主义* (或均变理论) 原理(或信条)。现实主义原理是夏尔·莱伊尔(Charles Lyell)于1833年提出的, 它认为, 地质人员今天看到的构造现象虽形成于以前, 但造成这些现象的地质作用一直活跃于地球表面。这个原理与乔治·居维叶(Georges Cuvier)于1823年提出的普遍灾变说相对立。然而, 许多古老的地质事实与这种严格意义上的现实主义是相抵触的。这些事实是: 今天的温带和热带曾受到冰川的覆盖, 陨石冲击造成火山口, 热液型铀矿床形成天然的核反应堆。尽管目前已经看不到这类事实, 但是我们确信它们曾经发生过。

因此可以想象, 以前, 在出现有机分子的地球的周围, 曾环绕着一层由甲烷和氨气构成的大气圈。由于氧化作用, 该大气圈后来消失了。这样想并不违反物理化学定律。相反, 当地质学家史蒂勒(Stille)在1935年提出假说, 认为以前形成的“正地槽”今天不能再出现时, 由于他未用力学和物理化学模式作出解释, 故他所能作的一切只能证明他已放弃了现实主义原理。

象存在生态学规律、经济学规律和心理学规律那样, 有些地质人员亦曾试图确立起属于地质学本身的地质规律(譬如有关地槽演化的规律。请参阅§17—1)。这些与复杂现象有关的规律不能得到全面而确切的理解, 它们往往遇到无法用之解释的或多或少的特殊情况(正如谚语所说, “例外正证实了规律”)。因此, 实际上这是掩盖了不容违反的物理定律的一些规律, 而这些规律, 如果现象经过了正确而全面的分析, 便只是物理定律的结果。俄文里区分得很清楚, 它不称定律(Закон), 而称“与定律相符的现象, 或公认的现象(Закономерность)*, 法文译作“规律性”。

因此, 现实主义原则不应该用特殊不变的地质学法则, 而应该用不随时间变化的(广义的)物理学定律来取代。即使在出现疑问的个别情况下(譬如关于万有引力常数变化的假说), 我们也还是取得了物理学定律不变的证据。

四、基础内部地球物理学的主要发现

(一) 古地磁学

利用有着不同放射性年代的火山岩所具有的剩余磁化强度得以发现, 地球磁场方向经常发生倒转。根据地磁场倒转现象建立了古地磁年代学。这种年代学方法对建立在古生物学及各种放射性蜕变基础上的年代学方法可以起到补充作用。利用地磁场倒转现象还可以

* 通过研究现今的地质现象来研究地球史的学说。——译者注

解释地磁场异常带的成因（请参阅后面的论述）。

此外，利用古地磁学方法还可以对开始于极久远年代的大陆漂移运动开展研究。

（二）地震学

1. 利用地震波研究地球内部。

2. 地震分布和“震源机制”，即震源应力状态测量。地震在地球上沿闭合曲线（这种曲线在大陆上会变得模糊起来）分布，将地球分为目前呈稳定状态的大型“板块”。几乎所有地震和绝大部分火山活动都发生在板块边界处。

（三）重力学和大地测量学

重力学的研究对象是重力场。重力值的地理分布状态与参考等位面（=水平面）即大地水准面的起伏变化有关。最初刚建立起大地测量网时，仅能通过水准测量方法确定陆地上的大地水准面波动情况，而今天，这一切可利用人造卫星进行测量（空间大地测量学）。

重力测量表明，存在着地壳均衡（所谓地壳均衡，即在山脉或洋盆以下一定深度上出现的流体静压力平衡）和区域补偿现象（区域补偿的范围小于几百 km，细部有着更明显的均衡状态）。由此产生了漂浮于软流圈这种软介质之上的岩石圈板块的概念。对大约在一万年前由于巨大内陆冰川消融引起的均衡抬升进行分析，可以使我们估算出软流圈的粘滞度。

（四）海洋地球物理学

1. 系统的海洋测深工作揭示，各大洋下面都存在着许多山脉地带、大洋中脊和其它有趣的地形（这主要是莫里斯·尤因（Maurice Ewing）领导的拉蒙特-道尔第研究室在六十年代建立的功绩）。

2. 对地磁场异常开展了研究工作，这项工作使在1963年产生了洋底于大洋中脊（板块间的界线）处发生扩张的革命性概念。借助这种磁异常可以测知洋底的扩张速率。更确切地讲，最先提出洋底扩张概念的是艾吉埃德（Egyed, 1956），不过他借助的是其它根据。美国的凯里（Carey, 1958）、希森（Heezen, 1960）、赫斯（Hess, 1962）重新使用了这个概念。对磁异常带作出解释的是瓦因（Vine）和马修斯（Matthews, 1963）。

此外，地震人员发现：第一，洋中脊以外的板块边界沿着和达-贝尼奥夫倾斜面（震源区）向深部下插；第二，沿俯冲板块的这种倾斜面，存在着一个有利于传递地震波的层位（需要说明的是，该层要比软流圈冷和硬）。因而形成了这样的看法：在大洋中脊部位上不断增生着的板块最终是要消失在被称为俯冲带的上述地带内的。转换断层（洋中脊轴在这里显示侧向跳跃）的概念是由图佐·威尔逊（Tuzo Wilson）于1965年提出的。

1967年，勒皮雄（Le Pichon）在拉蒙特研究室实习期间指出，假设板块为理想的刚性体（到发生挠曲的俯冲带为止），那么在地球多处测得的板块间的运动具有协调一致性（测量误差除外）。至此，板块学说或全球构造学说便问世了。

五、对实在物的培根推理法和波普推理法

本书将不采用勒皮雄、法朗士多（Francheteau）和博南（Bonnin）在《板块构造》一书（Elsevier, 1973）中采用的陈述方法：他们一开始便将板块的存在作为一个事实，并

由此引出各种结果。

首先，板块不是与海洋和灰岩岩体相等同的实体，而只是一种模式，即对实际事物进行某些计算和某些验证所允许的一种简化。从根本上说，这种模式不足以对地质现象作出更细微的分析。

另外，这种推理方法受到了弗朗西斯·培根（Francis Bacon）归纳法的影响。F. 培根（*Novum Organum*, 1620）从借助试验结果进行归纳推理的作法中发现了一条科学思想的基本原则：从某些特殊事实出发，可以归纳出某个真实的基本原理。只要依照这个原理进行演绎推理，就可以导出结果来。然而，正如哲学家卡尔·波普（Karl Popper）所阐明的，科学家事实上是以另一种方式从事研究工作的。我们永远证实不了某个原理是真实的。可以提出一种假设、一种理论（这对指导研究工作和分析结果是必不可少的），并尽可能对之作各种验证。如果是否定性的验证结果，则就需要修改或改变这种理论。那种一味等待板块理论的真实可行性得到证实才予以承认的态度不是科学的态度，但同样，将板块理论真实可行作为一种不变的信条来遵循不渝也是一种不科学的态度。

此外，自从勒皮雄等人的著作编写完成以来，板块理论又有了很大的发展。我们将会看到，这一理论不否认在板块之间可能存在易发生重大塑性变形的条带。另外，与板块联系不大的地热学模式和地球化学模式亦日益具有重大意义。可以说，板块理论仅仅是内部地球动力学的一个组成部分。

第二章 地震和地震探测

一、构造地震, 断层

地震(当造成破坏时亦称地动)是自震源发出的弹性波在到达时引起的地面震动。

地震源大多出现在地下不到20km的深度上,但有的可深达700km。地震学家将地震源分为三类:浅震源(深度小于60km)、中深震源(深度在60—300km之间)和深震源(深度大于300km)。

通常,地震是一地区于几十年中集聚起的弹性能量发生突然释放所引起。在弹性能量集聚的同时,邻区或下伏岩层发生连续塑性变形,张力并不增加。变形作用和地震一起构成新构造运动。地球上的地震一般分布在大板块之间宽度不一的带状区内。至于板块内部,那里的地震要少得多。

构造地震是最常见的一种地震类型。在震源部位,岩层发生剪切破裂,或者形成新断层,或者象经常发生的那样,老断层出现“再次活化”。在后一种情况下,老断层可以长达几百公里,但在地震发生时,则只在该断层的有限长度上出现活动。具体地讲,当发生特大地震时,在几十公里长的断层上仅有几米发生活动,而且这已是最大值了。断层活动性逐渐减缓,直至在活动带边缘消减为零(断层切割到达地表时例外)。达到地表的大型断层可以直线切割隆起地形和各种不同的地质层位。

在这种情况下,可以在野外直接测量用来定义断层的如下数值(图2—1):

——向量 R ,地质人员称断距,地震人员称位移或位错(=throw),它与地表断层线形成“滑动角” G (slip angle)。

——水平分量 C ,或称平错或称平移(=strike-slip),与正北方向形成夹角 A ,即方位角(=strike, azimuth)。在图2—1展示的情况里,站在一断盘上的观测人员可以看到另一断盘向左移动,故称“左向”平错(或左旋)。造成平错的力矩具有逆时针方向(=counterclockwise)。在相反情况下,则称右旋平移,力矩具有顺时针方向(=clockwise)。

——与平移方向相垂直的分量,地震人员称为断距。该向量与水平面形成夹角 δ ,称

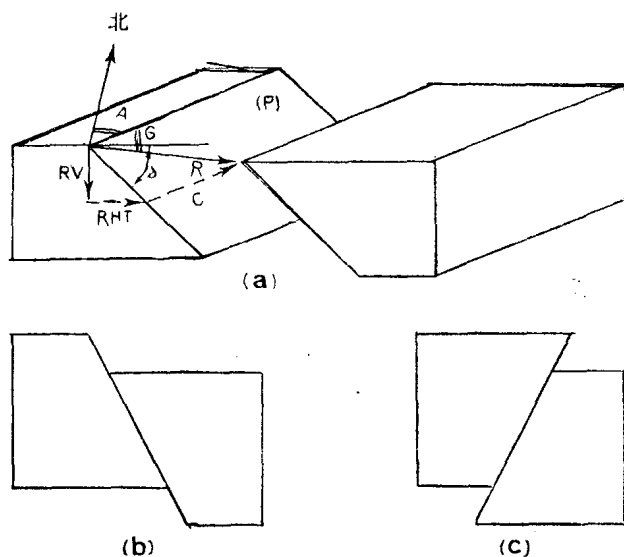


图 2—1 (a)左旋正断层立体图; (b)正断层; (c)逆断层